مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، سال چهاردهم، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۵، شمارهٔ پیاپی ۲۷

بررسی آسیب‌پذیری شبکهٔ معابر در زمان تخلیه‌اضطراری در زلزله‌های احتمالی(مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ثامن مشهد)

DOI: 10.22067/geography.v14i2.47249

محمّدعلی فرقانی (استادیار گروه مدیریت، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران)
forghani@uk.ac.ir
زین‌العابدین صادقی (استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران)
abed-sadeghi@yahoo.com
سپیده پوررمضان (کارشناس ارشد مدیریت بحران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، نویسندهٔ مسئول)
sepidehpoorramezan@yahoo.com

صص ۱۰۸ ـ ۹۱

چکیده

اهداف: هدف اصلی این مقاله شناسایی و پهنه‌بندی محدودهٔ منطقهٔ ثامن مشهد از نظر آسیب‌پذیری شبکهٔ معابر در زمان بروز حوادثی همچون زلزله می‌باشد.
روش: این مطالعه براساس هدف، از نوع تحقیقات کاربردی و از نظر ماهیت و روش، از نوع تحقیقات توصیفی ـ موردی است. بنابراین ابتدا پارامترهای مؤثّر در تعیین کارایی شبکهٔ معابر در زمان بروز بلایایی، همچون زلزله با استفاده از نظرات کارشناسان تعیین گردیدند. سپس برای انتخاب بهینه‌ترین مسیر جهت تخلیه‌اضطراری در زلزله‌های احتمالی، از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و قابلیت‌ها و تکنیک‌های هم‌پوشانی لایه‌های اطّلاعاتی در نرم‌افزار Arc GIS استفاده شده است.
یافته‌ها/نتایج: استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد که در بین شاخص‌های مطرح‌شده، شاخص ویژگی‌های سازه‌ای جداره درمجموع از دیگر شاخص‌ها تأثیرگذاری بیشتری را داشته است. همچنین نتایج حاصل از هم‌پوشانی شاخص‌ها نشان می‌دهد که معابر موجود در شمال منطقه نسبت به بقیهٔ محدودهٔ موردمطالعه، دارای آسیب‌پذیری بیشتری می‌باشند و با حرکت از شمال به جنوب منطقه، از میزان آسیب‌پذیری کاسته می‌شود.

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۳/۱۲ تاریخ تصویب: ۱۳۹٤/۰۹/۱۰

نتیجه‌گیری: بیشتر معابر این منطقه به‌لحاظ دارابودن بافت قدیمی و تراکم بالای جمعیتی و ساختار ساختمانی نامناسب، دارای بیشترین آسیب‌پذیری می‌باشند. بنابراین نیاز است تا زمان اصلاح شبکهٔ معابر از مسیرهای اصلی منطقه به‌عنوان بهینه‌ترین مسیرها که دارای بهترین شرایط برای دسترسی به سایر مناطق هستند، استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: شبکهٔ معابر، آسیب‌پذیری، تخلیه‌اضطراری، منطقهٔ ثامن مشهد

۱. مقدّمه

عواملی چون گرم‌شدن جهانی، تخریب محیطی و افزایش شهرنشینی، تعداد زیادی از مردم را در معرض تهدید سوانح طبیعی قرار می‌دهد. در سه دههٔ گذشته، نرخ سوانح از۵۰ به ٤۰۰ سانحه در هر سال رشد کرده است و هنوز نیز انتظار می‌رود که در ۵۰ سال آینده این افزایش پنج برابر گردد(کواکز و اسپنز[1]،۲۰۰۹، ص.۵۰۷). در سال ۲۰۱۰، ۲۰۷ میلیون نفر از مردم جهان در سوانح آسیب دیدند که باعث ۲۹٦۸۰۰ مرگ و زیانی بالغ بر ۱۰۹ بیلیون دلار شد(ساپیر[2]،۲۰۱۱، ص.۲). این سوانح طبیعی نیازمند بسیج فوری و اقدام مسئولان برای تأمین مواد و تجهیزات لازم و خدمات خواسته‌شده توسط قربانیان می‌باشند. تمرکز عملیات امداد سوانح بر روی «طراحی حمل‌ونقل کمک‌های اوّلیه، غذا، تجهیزات، و نجات کارکنان از نقاط پیرامون منطقهٔ سانحه و تخلیه و انتقال افراد آسیب‌دیده توسط سانحه به مراکز بهداشت و پناهگاه‌های امن و سریع» می‌باشد(آپته[3]، ۲۰۰۹، ص.۳۹). در کشورهایی همچون ایران، تجربیات مخاطرات طبیعی نشان می‌دهد که مدیریت و تصمیم‌گیری پیش از وقوع زلزله و پس از آن، بسیار حائز اهمّیت است. بروز برخی از حوادث طبیعی و غیرطبیعی شرایطی را به‌وجود می‌آورند که بعضاً تخلیهٔ سریع یک منطقه را اجتناب‌ناپذیر می‌سازند. حوادث طبیعی عمدتاً زمین‌لرزه‌ها(مانند زمین‌لرزهٔ مهیبی که در دی‌ماه ۱۳۸۲ شهر بم را درهم کوبید)، گردبادها(مانند گردباد اندرو که در سال ۱۹۹۲ میلادی سواحل شرقی امریکا را درنوردید)، سیلاب‌ها(مانند سیل سهمگین سال ۱۳۸۰ شمسی که بخشی از استان‌های شمال و شمال‌شرق ایران را تخریب

1. Kovacs& Spens
2. Sapir
3. Apte

کرد) و فوران‌های آتشفشان(مثل فوران کوه آتشفشانی اتنا در ایتالیا در سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۰۱ میلادی که موجب تخلیهٔ مناطق همجوار گردید) را شامل می‌شوند(طارقیان[1]، ۲۰۰٤، ص. ۲٦). دراین‌راستا تخلیهٔ جوامعی که دچار سانحه شده‌اند، می‌تواند یکی از مشکل‌ترین عملیات پاسخ باشد. تخلیه می‌تواند اجباری، پیشنهادشده یا داوطلبانه صورت گیرد، و ممکن است در مقیاس، اهداف جابه‌جایی(افراد درمقابل اموال) و سطح کنترل توسط مسئولان متفاوت باشد. با درنظرگرفتن نوع سانحه، پیش‌آگاهی از سوانحی که ناگهان شروع خواهند شد، می‌توانند زمان کافی برای تخلیهٔ پیش از رویداد باقی گذارد(کواکز و اسپنز، ۲۰۰۷، ص. ۱۰۲).

یک برنامهٔ تخلیه، سیاست‌های تخلیهٔ بهینه را برای جمعیت مناطق تحت ریسک و عدم اطمینان تعریف می‌کند. نیاز برای انجام برنامه‌ریزی جهت تخلیه، درسی است که از ناکامی تخلیه بعد از طوفان کاترینا در ایالات متحدهٔ امریکا یاد گرفته شد، اگرچه طراحی زمان واقعی یا ارزیابی دوباره از این برنامه‌ریزی‌ها ممکن است بعد از خساراتی که سانحه ایجاد کرد، موردنیاز باشد(آپته، ۲۰۰۹، ص.٦٤). تکنیک‌ها و روش‌هایی برای شبیه‌سازی تخلیهٔ افراد ساکنِ نزدیک به منطقهٔ آسیب‌دیده با هدف اصلی شناسایی مشکلاتی که در لحظهٔ تخلیه می‌تواند اتّفاق افتد، به اجرا درآمده است. ازجملهٔ این مشکلات می‌توان ازدحام و تصادفات وسایل نقلیه را نام برد که سبب افزایش زمان تخلیه و تعداد مجروحان می‌شود. باوجوداین، روش‌های متداول و ابتکاری برای تعریف مسیرهای تخلیه به‌طورکلّی مبتنی بر مجاورت جغرافیایی و برای کوتاه‌ترین زمان مسافرت می‌باشند. چنین تکنیک‌هایی نه می‌گویند که ظرفیت مسیرها، تقاضای شدید برای حمل‌ونقل در طی تخلیه را ایفا نمی‌کنند و نه اینکه مسیرهای باریک در معرض تصادفات بالقوه می‌باشند(کامپس و باندریا[2]، ۲۰۱۲، ص. ٥۰٤).

درنهایت، هدف اصلی این پژوهش شناسایی عوامل پهنه‌بندی محدودهٔ منطقه ثامن مشهد از نظر آسیب‌پذیری شبکهٔ معابر در زمان بروز حوادثی همچون زلزله است.

۲. پیشینهٔ تحقیق

در سال‌های اخیر، مطالعاتی درزمینهٔ تخلیه و آسیب‌پذیری شبکهٔ حمل‌ونقل صورت پذیرفته است. سالکی ملکی، ولی‌بیگی، و قاسمی(۱۳۹۲) در تحقیق خود به ارزیابی فضایی

1. Tareghiyan
2. Campos & Bandeira

کارایی شبکهٔ ارتباطی دورن‌شهری برای امدادرسانی بعد از وقوع زلزله پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که باید تراکم ساختمانی و جمعیتی در معابر کم‌عرض کاهش یابد و از افزایش درجهٔ محصوریت و ساختن ساختمان‌های مرتفع در مسیرهای آسیب‌پذیر جلوگیری به‌عمل آید. شیعه، حبیبی، و ترابی(۱۳۸۹) نیز در مطالعهٔ خود بر روی آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی شهرها با استفاده از مواردی، چون: دسترسی به مراکز درمانی، رابطه بین عرض خیابان و ارتفاع ساختمان‌ها، تراکم ساختمانی و جمعیتی منطقه و کیفیت ابنیه از طریق مدل‌های مختلف PGA، کاربری زمین تلفیق اطّلاعات و نقشه‌ها که براساس مدل تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس ترکیب شده است، میزان آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی منطقهٔ شش تهران را ارزیابی کردند و نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد که بدنهٔ خیابان‌هایی با تراکم ساختمانی و جمعیتی بالا، کیفیت ابنیهٔ پایین، فاصلهٔ زیاد تا مراکز امدادی نسبت به سایر قطعه‌ها و درجهٔ محصوریت بیشتر، از میزان آسیب‌پذیری بالایی برخوردار بوده است؛ تاحدی که به‌عنوان بخش‌های آسیب‌پذیر شناخته می‌شوند. کانتینهو رادریجز، ترالهاو، و آلمدیا[1] (۲۰۱۲) مسئلهٔ مسیریابی - مکان‌یابی را با رویکردی چند هدفه به‌منظور طراحی برنامه‌های تخلیهٔ شهری برای شهر کویمبرا در پرتغال به‌کار برده‌اند. آنها اهدافی، شامل ریسک مرتبط با مسیرها و مکان‌های سرپناه، طول مسیرهای تخلیه، زمان تخلیه از سرپناه به‌سوی مراکز درمانی در مواقع اضطراری را برای شهر کویمبرا در پرتغال به‌طور موردی درنظر گرفته‌اند و با استفاده از اهداف، به مدل‌سازی چندهدفهٔ مسیریابی ـ مکان‌یابی برای دسترسی اثربخش به مسیرهای اضطراری پرداخته‌اند. آنها در بررسی خود دو مسیر(اوّلیه و پشتیبان) را درنظر گرفته‌اند که مسیر پشتیبان برای زمانی می‌باشد که مسیر اوّلیه، مسدود گشته و کارایی خود را از دست می‌دهد. آنها راهکارهایی را برای مسیریابی بهینه ارائه داده و با استفاده از گراف‌ها، جدول‌ها و نقشه‌های رنگیِ کدبندی‌شده در محیط GIS آنها را با هم مقایسه کرده‌اند و درنهایت به مسیرهای موردنظر دست یافته‌اند(کانتینهورادریجز، ترالهاو و آلمدیا، ۲۰۱۲، ص.۲۱٦). هاشمی و الشیخ(۲۰۱۱)، به ارزیابی خسارت‌های ناشی از زلزله در تهران پرداخته‌اند. آنها مدلی را برمبنای GIS تعریف کردند و با مدل‌سازی ریاضیاتی توانستند مقدار آسیب وارده به ساختمان‌ها و تخریب شبکهٔ معابر در اثر ریزش آنها و تلفات ناشی از

1. Countinho-Rodrigues, Tralhão & Alcada-Almeida

زلزله را برآورد نمایند. هان، یوان، چین، و هووانگ[1](۲۰۰٦) پیشنهاد می‌کنند که مشکل عمده در عملیات تخلیه این است که راه‌های خروجی منطقهٔ تخلیه، اغلب به تعداد و ظرفیت محدودی می‌باشند که با افزایش ناگهانی ترافیک در طول تخلیه‌اضطراری در مقیاس بزرگ، کافی نیستند. استپانوف و اسمیت[2](۲۰۰۹) بیان می‌کنند که ظرفیت شبکهٔ حمل‌ونقل به‌طورکلّی نمی‌تواند تقاضای شدید برای حمل‌ونقل در طول تخلیه را تأمین نماید و حتّی در تخلیه‌های کوچک در مقیاس محله‌ای، شبکه‌های حمل‌ونقل می‌تواند مانعی برای پاک‌سازی سریع جمعیت از یک منطقهٔ آسیب‌دیده باشند. به‌منظور مدیریت مؤثّرتر چنین شرایط اضطراری‌ای، تصمیم‌گیرندگان ممکن است از داشتن برنامه‌ های تخلیه در محل برای حالاتی که به‌احتمال زیاد اتّفاق می‌افتد بهره‌مند شوند، هرچند طراحی در زمان واقعی و یا ارزیابی مجدّد برنامه‌های تخلیه ممکن است پس از رخ‌دادن سوانح موردنیاز باشد. بنابراین مطالعات انجام‌شده بر روی روش‌ هایی برای بهبود برنامه‌ریزی و جنبه‌های عملیاتی فرایند تخلیه برای به حداکثر رساندن استفاده از شبکهٔ حمل‌ونقل موجود تمرکز کرده‌اند.

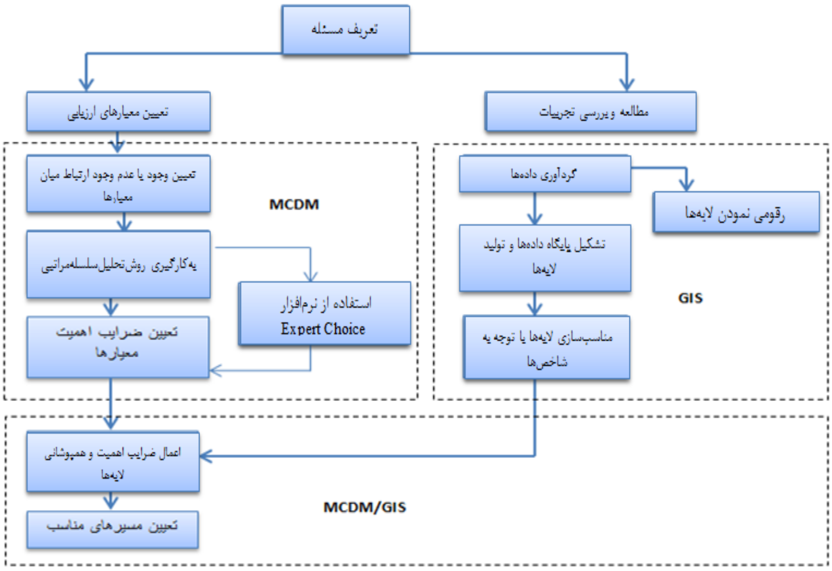
۳. روش‌شناسی تحقیق

۳. ۱. روش تحقیق

این مطالعه براساس هدف، از نوع تحقیقات کاربردی و از نظر ماهیت و روش، از نوع تحقیقات توصیفی ـ موردی است که براساس اطّلاعات توصیفی سال ۱۳۹۰ شهرداری ثامن مشهد بررسی شده است. به‌طورکلّی در این مطالعه به شاخص‌سازی، مدل‌سازی و تحلیل ارتباط بین پارامترهای مختلف مسیریابی تخلیه‌اضطراری برای منطقهٔ ثامن مشهد پرداخته شده است. بنابراین در گام اوّل با مطالعات کتابخانه‌ای، به شناسایی عوامل مهم در این امر پرداخته شده است. به عبارتی در رابطه با ارزیابی کارایی شبکهٔ معابر در تخلیه‌اضطراری، عنصر مهم و تأثیرگذار تشخیص جامع مجموعه معیارهای مؤثّر در این زمینه است؛ به‌گونه‌ای‌که مطالعهٔ حاضر تنها به چند عامل بسنده نکرده و دید نسبتاً جامعی را ایجاد می‌نماید. بدین‌منظور، با توجّه به نتایج حاصل از مطالعات و تحقیقات پیشین و بهره‌گیری از نظرات کارشناسان، معیارها و زیرمعیارهایی برای بررسی کارایی شبکهٔ معابر در تخلیه‌اضطراری برگزیده

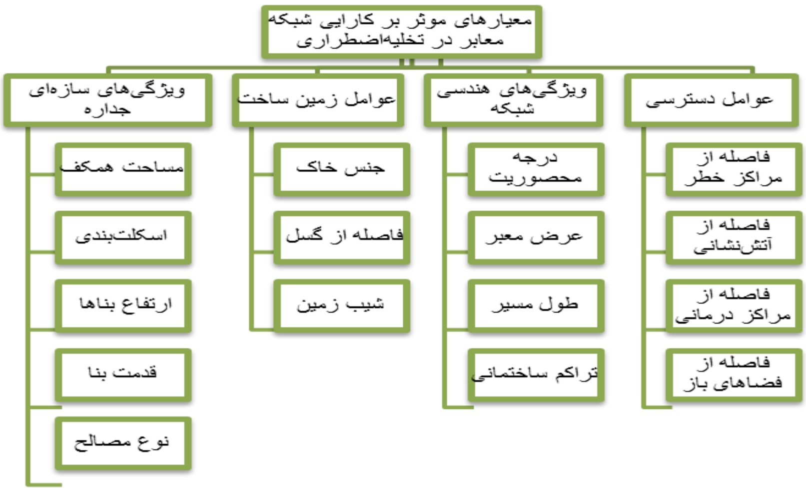
1. Han, Yuan, Chin & Hwang
2. Stepanov & Smith

گردید(شکل ٢). در ادامه مطابق با روند بیان‌شده در شکل(١) و با استفاده از روش تحقیق پیمایشی، مسیرهای آسیب‌پذیر با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار Arc GIS مدل‌سازی شده و با تلفیق لایه‌های اطّلاعاتی موردنظر، مسیرهای بهینه برای امدادرسانی و تخلیه‌اضطراری در زمان حادثه‌ای چون زلزله شناسایی گردیدند.



شکل ١ـ روند انجام پژوهش

مأخذ: نگارندگان، ١٣٩٣

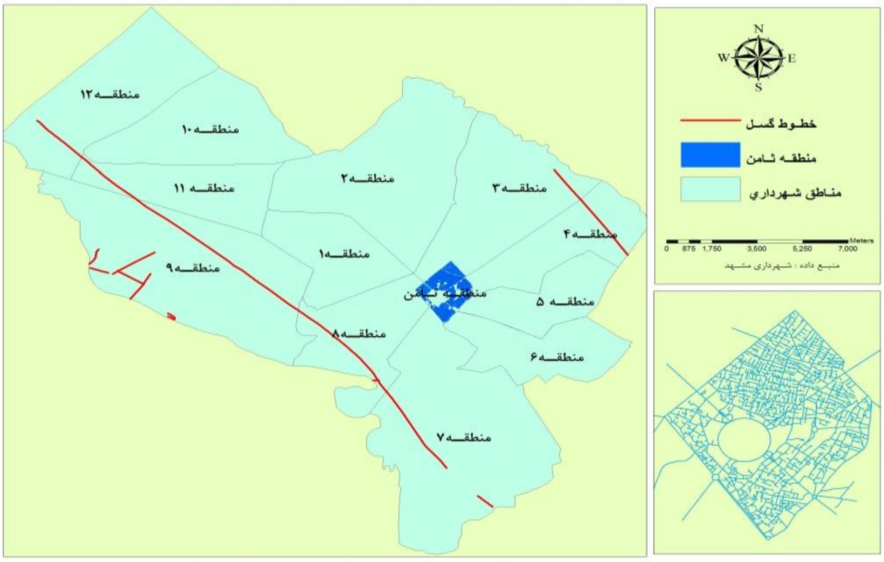


شکل٢ـ معیارها و زیرمعیارهای مؤثّر بر کارایی شبکهٔ معابر در تخلیه‌اضطراری

مأخذ: نگارندگان، ١٣٩٣

۳. ۲. معرّفی منطقهٔ موردمطالعه

منطقهٔ ثامن در مرکز شهر مشهد و در پیرامون حرم مطهر امام‌رضا(ع) قرار گرفته است و دارای بافت قدیمی مذهبی ـ سنّتی است. مساحت این منطقه ۳٦۰ هکتار است که ٦۹ هکتار آن اراضی حریم حرم‌مطهر می‌باشد. بیشتر هتل‌ها، هتل‌آپارتمان‌ها و مهمان‌پذیرهای مشهد در این منطقه واقع شده‌اند و دارای شرایط مناسبی برای زائرپذیری می‌باشد. نکتهٔ قابل‌توجّه این است که این منطقه هرساله پذیرای بیش از ۲۰ میلیون نفر زائر و گردشگر خارجی می‌باشد(خبرگذاری حوزهٔ نمایندگی ولی فقیه در امور حج و زیارت، ۱۳۹٤) و از طرفی نیز، دارای بافت متراکم و فرسوده‌ای در بیشتر نقاط است که این موضوع، این نگرش را ایجاد خواهد کرد که بروز بحرانی همچون زلزله، تخریب‌های گسترده‌ای را در پی داشته باشد. این مسئله زمانی تشدید می‌گردد که سرعت امدادرسانی به‌دلیل ناکارآمدی معابر و بافت ساختمانی منطقه کاهش یابد. بنابراین ضروری است تا ضمن تحلیل شبکهٔ ارتباطی به‌عنوان مؤثّرترین عنصر در مرحلهٔ امدادرسانی، نقاط آسیب‌پذیر آن نیز شناسایی شوند تا در مواقع بحران از مسیرهای جایگزین و دارای کارایی بالا استفاده گردد. شکل(۳) نمای کلّی از منطقهٔ موردنظر و موقعیت گسل‌ها نسبت به این منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۳ـ محدودهٔ موردمطالعه در این پژوهش

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳

٤. مبانی نظری

٤. ١. تخلیه‌اضطراری

برنامه‌ریزی تخلیه یک فرایند پیچیده متشکّل از چند مرحلهٔ متوالی است. پس از تشخیص یک حادثه، تصمیم‌گیرندگان، تهدید بالقوّه برای مناطق خاص را ارزیابی می‌کنند و سپس دستور تخلیه برای این مناطق را (اگر خطر قابل‌توجّه باشد و هیچ پناهگاهی در محل وجود نداشته باشد) صادر می‌کنند. نوع سانحه و تخلیهٔ کلّی یا جزئی به محل‌های امداد، طولانی یا موقّتی‌بودن تخلیه را تعیین خواهند کرد(آپته، ۲۰۰۹، ص.۳۰). هشدار تخلیه با جمعیتی ارتباط برقرار می‌کند که باید برای تخلیه تصمیم بگیرند و به درک آنها از خطر بستگی دارد. پس از آن، جمعیت از طریق یک شبکهٔ حمل‌ونقل به مناطق تعیین‌شدهٔ امن منتقل می‌گردند. وضعیت زیرساخت تعیین خواهد کرد که چه حالتی از حمل‌ونقل استفاده شود، امّا تخلیه نیز به ناوگان موجود از وسایل نقلیه، ظرفیت آنها و نیز شرایط محیطی تخلیه‌شوندگان بستگی دارد. درنهایت تخلیه‌شوندگان به مناطق خارج از منطقهٔ خطر می‌رسند و باید این تخلیه موردقبول آنها باشد تا آن را با خیال راحت به انجام برسانند(استپانوف و اسمیت، ۲۰۰۹، ص.٤۳٦). زمان تخلیه ممکن است از چند ساعت تا هفته‌ها یا حتّی ماه تغییر کند که این نیز به ابعاد سانحه بستگی دارد. برنامه‌ریزی برای شناسایی اولویت‌ها و تعیین مسیر بهینهٔ انتقال افراد از مناطق بحران‌زده به مناطق امن، متأثر از عوامل مختلفی اعمّ از ساختار شهر، بافت شهر، فرم شهر، کاربری اراضی شهر، تراکم، تأسیسات و زیرساخت‌های شهری، شبکهٔ ارتباطی شهر و... است. بنابراین تعیین اولویت برای مسیرهای مختلف موجود به‌منظور انتقال افراد در بخش‌های مختلف شهر به نزدیک‌ترین محل امن، مستلزم تعریف شاخص‌های مرتبط با مسئلهٔ تخلیه‌اضطراری می‌باشد.

٤. ٢. آسیب‌پذیری

آسیب‌پذیری به میزان خسارت ناشی از سطح مشخصی از خطر(مثلاً ناشی از رخداد زلزله‌ای با اندازهٔ معین) به یک یا چند عنصر که در معرض ریسک قرار دارند، اطلاق می‌گردد(عبّاس‌نژاد و حسن‌زاده، ۲۰۰۸، ص. ۲۱۰). شناسایی و تشخیص تهدیدات، این امکان را به‌وجود خواهد آورد که جوامع و اماکن و اموالی را که درمقابل یک سانحهٔ خسارت‌آفرین

و یا ویرانگر آسیب‌پذیر هستند، با دقت قابل‌قبولی شناسایی کرده و میزان آسیب‌پذیری آنها تخمین زده شود(کارتر[1]، ۱۹۹٤، ص. ٦٤).

٤. ۳. شبکهٔ حمل‌ونقل اضطراری

معمولاً بعد از وقوع حوادث بزرگ، شبکهٔ حمل‌ونقل در اثر تخریب پل‌ها و دیگر حوادث جاده‌ها، ریزش ساختمان‌های مجاور راه‌ها، گسلش، زمین‌لغزش، روانگرایی، فرونشست زمین و... یا هجوم یا رهاشدن خودروها، دچار اختلال می‌گردد و مشکلاتی در دسترسی سریع نیروهای امداد و نجات به مناطق آسیب‌دیده ایجاد می‌شود. از دیدگاه مدیریت بحران، راه‌های اضطراری را می‌توان به دو گروه راه‌های اضطراری اوّلیه و ثانویه تقسیم کرد. راه‌های اضطراری اوّلیه مسیر بین مراکز بحران(در سطوح ملّی تا ناحیه‌ای) با مبادی ورودی شهر، نظیر خطوط حمل‌ونقل جاده‌ای یا فرودگاهی می‌باشند. راه‌های اضطراری ثانویه مسیرهای ارتباطی بین مراکز واکنش اضطراری، مراکز امدادی، آتش‌نشانی، امنیتی و درمانی می‌باشند(حسینی[2]، ۲۰۰۸، ص. ۳۰).

با توجّه به اهمّیت مسائل تخلیه اضطراری در هنگام وقوع بلایا، طرح اتخاذشده برای تخلیهٔ منطقهٔ موردنظر می‌باید مناسب‌ترین و بهترین از بین دیگر گزینه‌ها بوده و بتواند باعث نجات جان بیشترین تعداد نفرات در هنگام وقوع فاجعه شود. بدین‌ترتیب در مطالعهٔ حاضر، به بررسی نقاط آسیب‌پذیر شبکهٔ حمل‌ونقل منطقهٔ ثامن براساس معیارهای ذکرشده پرداخته شده است تا براساس نتایج حاصل از آنها، بتوان الگوهای مناسب برای تخلیه و امدادرسانی به‌موقع را طراحی کرد.

۵. یافته‌های تحقیق

۵. ۱. طبقه‌بندی داده‌ها

با توجّه به مطالعات صورت‌گرفته، تاکنون هیچ طبقه‌بندی علمی و جامعی برمبنای استانداردهای پذیرفته‌شدهٔ بین‌المللی درزمینهٔ تعیین مسیرهای بهینه برای تخلیه‌اضطراری در ایران صورت نگرفته است. در این پژوهش، چهار گروه شاخص کمّی و کیفی برای

1. Karter
2. Hoseini

ارزش‌دهی به مسیرها با توجّه به نظرات خبرگان و کارشناسـان در چهـار لایـهٔ نهـایی در نظـر گرفته شدند(شکل ۲).

برخی از شاخص‌ها از اهمّیت زیادی نسـبت بـه دیگـر شـاخص‌هـا برخوردارنـد و نقـش تعیین‌کننده‌ای در آسیب‌پذیری دارند. با توجّه به اینکه نقش و اهمّیت هریک از شـاخص‌هـا و مقایسهٔ زوجی بین آنها با استفاده از روش سلسله‌مراتبی AHP امکان‌پـذیر اسـت، مـی‌تـوان از این روش به‌عنوان روشی مناسب جهت مدل‌سازی و ارزیـابی آسـیب‌پـذیری فیزیکـی شـهرها دربرابر زلزله استفاده کرد. برای تولید ماتریس مقایسهٔ زوجی شاخص‌ها ابتدا بایـد هرکـدام از معیارهای مربوطه با زیرمعیارهایشان به‌صورت نقشهٔ وزن‌گذاری‌شده تولید شوند تا در هنگـام مقایسـهٔ زوجـی و اسـتخراج وزن‌هـا، اهمّیـت هرکـدام از شـاخص‌هـا، مورداسـتفاده قـرار بگیرد(جدول ۱). برمبنای این روش، هریک از زیرشاخص‌ها در شاخص‌های اصـلی براسـاس اهمّیتی که دارند، در یکی از گروه‌های آسیب‌پذیری قـرار مـی‌گیـرد. سـپس مـاتریس مقایسـهٔ دوتایی شاخص‌های اصلی ترسیم می‌گردد.

جدول ۱ـ ماتریس معیارها و زیرمعیارها و کدبندی آنها بر اساس میزان آسیب‌پذیری

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۳

عوامل و معیارهای اصلی	عوامل و زیرمعیارهای ۱	عوامل و زیرمعیارهای ۲	آسیب‌پذیری خیلی کم	آسیب پذیری کم	آسیب‌پذیری متوسط	آسیب‌پذیری زیاد	آسیب‌پذیری خیلی زیاد
			۱	۳	۵	۷	۹
ویژگی‌های سازه‌ای جداره	نوع مصالح	آجر و خشت				■	
		چوب و آجر و آهن			■		
		بتن و فولاد		■			
	قدمت بنا	از سال ٤٥ـ ٥٥					■
		از سال ٥٥ـ ٧٥			■		
		از سال ٧٥ـ ٩٠	■				
	اسکلت‌بندی	بدون اسکلت-بندی				■	
		دارای اسکلت-بندی			■		
	ارتفاع بنا (متر)	کمتر از ۹		■			

ادامهٔ جدول ۱

عوامل و معیارهای اصلی	عوامل و زیرمعیارهای ۱	عوامل و زیرمعیارهای ۲	آسیب‌پذیری خیلی کم ۱	آسیب‌پذیری کم ۳	آسیب‌پذیری متوسط ۵	آسیب‌پذیری زیاد ۷	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۹
ویژگی‌های سازه‌ای جداره	ارتفاع بنا (متر)	کمتر از ۹		■			
		بین ۹ـ ۱۲			■		
		بین ۱۲ـ ۱۵				■	
		بیشتر از ۱۵					■
	مساحت همکف(m^2)	کمتر از ۱۰۰					■
		۱۰۰ـ ۲۵۰				■	
		۲۵۰ـ ۵۰۰			■		
		بیشتر از ۵۰۰		■			
عوامل زمین ساخت	فاصله از گسل(متر) پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه	۰ـ ۲۰۰۰					■
		۲۰۰۰ـ ۳۰۰۰				■	
		۳۰۰۰ـ ۴۰۰۰			■		
		۴۰۰۰ـ ۵۰۰۰		■			
		۵۰۰۰ـ ۶۰۰۰	■				
	نوع خاک (عمق ۳۰–۴۰)	ماسه‌ای				■	
		سیلتی			■		
		سیلتی ـ رسی		■			
		رسی	■				
	شیب (درصد)	۰ـ۳	■				
		۳ـ ۶		■			
		۶ـ ۹			■		
		۹ـ ۱۵				■	
		۱۵ به بالا					■
ویژگی‌های هندسی شبکه	درجهٔ محصوریت (متر)	کمتر از ۰/۵					■
		۰/۵ـ ۱				■	
		۱ـ ۲			■		
		بیشتر از ۲	■				
	عرض معبر (متر)	کمتر از ۵					■
		۵ـ ۹				■	
		۹ـ ۱۳			■		
		۱۳ـ ۲۱		■			
		بیشتر از ۲۱	■				
	طول مسیر (متر)	کمتر از ۱۰۰	■				

ادامهٔ جدول ۱

عوامل و معیارهای اصلی	عوامل و زیرمعیارهای ۱	عوامل و زیرمعیارهای ۲	آسیب‌پذیری خیلی کم ۱	آسیب‌پذیری کم ۳	آسیب‌پذیری متوسط ۵	آسیب‌پذیری زیاد ۷	آسیب‌پذیری خیلی زیاد ۹
ویژگی‌های هندسی شبکه		۱۰۰ _۲۰۰		■			
		۲۰۰ _۵۰۰			■		
		بیشتر از ۵۰۰				■	
	تراکم ساختمانی (٪)	بسیار بالا					■
		بالا				■	
		متوسط			■		
		پایین		■			
		بسیار پایین	■				
عوامل دسترسی	فاصله از مراکز خطر(متر)	زیر ۵۰۰					■
		۱۰۰۰_۵۰۰				■	
		۱۵۰۰ _۱۰۰۰			■		
		۲۰۰۰_۱۰۰۰		■			
		۲۰۰۰ به بالا	■				
	فاصله از مراکز درمانی (متر)	۱_ ۵۰۰	■				
		۱۰۰۰ _۵۰۱		■			
		۱۵۰۰ _۱۰۰۱			■		
		۲۰۰۰ _۱۵۰۱				■	
		بالای ۲۰۰۰					■
	فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی (متر)	زیر۱۲۰۰	■				
		۲۰۰۰ _۱۲۰۰		■			
		۳۰۰۰ _۲۰۰۰			■		
		۳۰۰۰ به بالا				■	
	فاصله از فضاهای باز بی‌کالبد (متر)	۰ _۱۰۰	■				
		۱۰۰ _۳۰۰		■			
		۳۰۰ _۵۰۰			■		
		۵۰۰ _۷۰۰				■	
		۷۰۰ به بالا					■

۵. ۲. یافته‌های حاصل از تجزیه‌وتحلیل

۵. ۲. ۱. وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها

بعد از تعیین زیرمعیارها و کدبندی آنها، باید به محاسبهٔ وزن‌های هریک از معیارها پرداخت. در این پژوهش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی[1] شامل سه گام اصلی: الف) تولید ماتریس مقایسهٔ دوتایی، ب) محاسبهٔ وزن‌های معیار و ج) تخمین نسبت سازگاری بوده است که با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبات مربوطه انجام پذیرفت که با نتایج به‌دست‌آمده در نرم‌افزار Expert Choice هم‌خوانی‌های لازم را داشت. جدول(۲) نتایج حاصل از بررسی‌ها و وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر معیار و زیرمعیارهای مربوط به آنها را نشان می‌دهد(ضریب ناسازگاری CR در این بررسی ۰,۰۵ بوده است که نشانگر سازگاری قابل‌قبول می‌باشد).

جدول۲ــ وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها

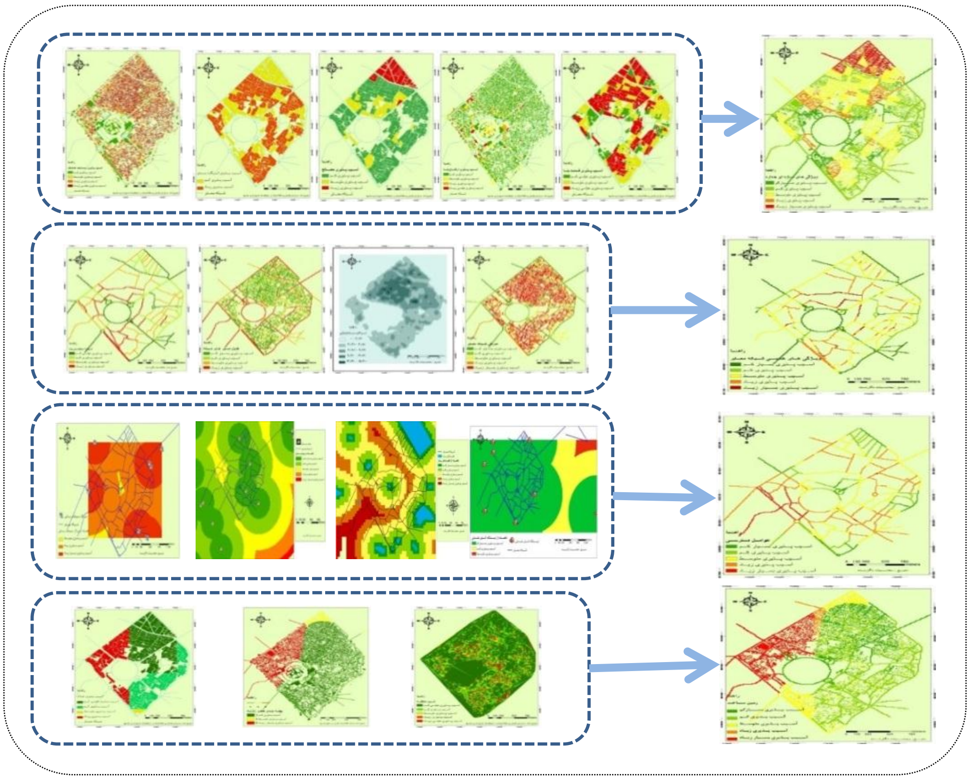
مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۳

معیارهای اصلی	وزن نسبی	معیارهای فرعی	وزن نسبی	اولویت
ویژگی‌های سازه‌ای جداره	۰/۳۷	نوع مصالح	۰/٤۹	۱
		قدمت بنا	۰/۲۱	۲
		ارتفاع بناها	۰/۱۱	٤
		اسکلت‌بندی	۰/۱۳	۳
		مساحت همکف	۰/۰٦	٥
ویژگی‌های هندسی شبکه	۰/۲٥	درجهٔ محصوریت	۰/٥۰	۱
		تراکم ساختمانی	۰/۲۷	۲
		عرض مسیر	۰/۱۲	۳
		طول مسیر	۰/۱۱	٤
عوامل دسترسی به شبکه	۰/۲۰	فاصله از مراکز خطر	۰/٥٥	۱
		فاصله از مراکز درمانی	۰/۲۳	۲
		فاصله از آتش‌نشانی	۰/۱۰	٤
		فاصله از فضاهای باز	۰/۱۲	۳
زمین ساخت	۰/۱۸	جنس خاک	۰/۲۷	۲
		فاصله از گسل	۰/٥۹	۱
		شیب زمین	۰/۱٤	۳

1. Analytical Hierarchy process(AHP)

۵. ۲. ۲. تهیهٔ لایه‌های اطّلاعاتی

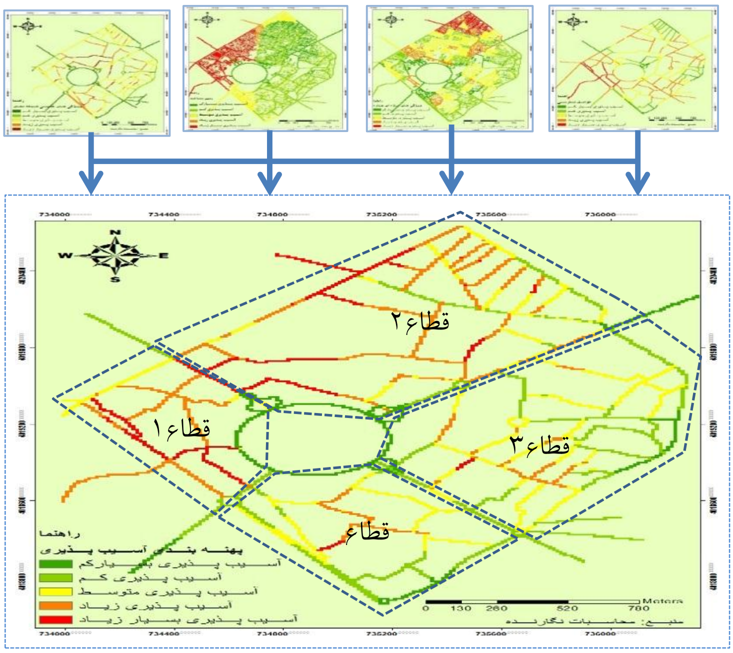
پس از اینکه نقشه‌های موردنظر در رابطه بـا زیرمعیارهـا تبـدیل بـه رسـتر و ریکلاسـیفای شدند، نقشه‌های مربوطه برای هر معیار با استفاده از مـدل هـم‌پوشـانی Weighted Sum، در Raster Calculator با یکدیگر تلفیق شده و وزن‌های به‌دست‌آمده بر روی آنها اعمال گردید و نقشهٔ آسیب‌پذیری کلّی برای هر معیار به‌دست آمد. در ادامه، نقشه‌های مربوطه به هـر معیـار که از هم‌پوشانی زیرمعیارهای آن حاصل می‌گردد، نمایش داده شده‌اند(شکل ٤).



شکل ٤ـ نقشهٔ معیارها و زیرمعیارها و هم‌پوشانی آنها

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۳

درنهایت، برای ایجاد نقشهٔ پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقهٔ ثامن دربرابر زلزله نیـاز اسـت کـه معیارهای کلّی مدّ نظر در این تحقیق با یکدیگر تلفیق گردند تا بـه یـک نقشـهٔ کلّـی و واحـد دست یابیم(شکل ۵).



شکل ۵ــ پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقهٔ ثامن مشهد

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۳

٦. بحث و نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی تخلیه بخش مهم و عمده‌ای از برنامه‌های اضطراری در مناطق آسیب‌پذیر به بلایا می‌باشد. درواقع مسیری می‌تواند در امر امدادرسانی و پناه مؤثّر باشد که خود کمترین آسیب را ببیند. هدف از این تحقیق، تعیین میزان کارایی شبکهٔ ارتباطی در زمان بروز بحران زلزله در سطوح منطقه‌ای بوده است که با مطالعهٔ موردی منطقهٔ ثامن مشهد انجام شد. دراین‌راستا براساس نظریات و دیدگاه‌های صاحب‌نظران در این زمینه، شکل کلّی برای بررسی و تحلیل میزان آسیب‌پذیری معابر مختلف در سطح این منطقه ارائه گردید که در آن چهار شاخص عمده و زیرشاخص‌های تاثیرگذار طبق جدول(۱) در ۵ پهنه‌بندی آسیب‌پذیری بسیارکم، آسیب‌پذیری کم، آسیب‌پذیری متوسط، آسیب‌پذیری زیاد و آسیب‌پذیری بسیار زیاد تقسیم بندی گردیدند. علاوه بر این، استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد که در بین شاخص‌های مطرح‌شده، شاخص ویژگی‌های سازه‌ای جداره درمجموع نسبت به سه شاخص دیگر، بیشترین تأثیرگذاری را به‌همراه داشته است و فاصله از گسل، فاصله از مراکز خطر،

درجهٔ محصوریت و نوع مصالح به‌ترتیب بیشترین تأثیر را بر میزان کارایی شبکهٔ ارتباطی در زمان بروز بحران زلزله گذاشته و خواهند داشت. درنهایت، نتایج به‌کارگیری این شاخص‌ها در منطقهٔ ثامن و تلفیق آنها با استفاده از سیستم اطّلاعات جغرافیایی نشان می‌دهد که شکل (٥) به‌طورکلی معابر موجود در شمال منطق (قطاع ۲) نسبت به بقیهٔ محدودهٔ موردمطالعه، دارای آسیب‌پذیری بیشتری می‌باشند. با حرکت از شمال به جنوب منطقه، از میزان آسیب‌پذیری کاسته می‌شود؛ زیرا جنوب منطقه نسبت به شمال آن دارای معابر با عرض کافی، ساختمان‌های مقاوم‌تر و با قدمت کمتر و دسترسی‌های مناسب‌تری می‌باشد. وجود تراکم ساختمانی بالا و به‌تبع آن تراکم جمعیتی بالا در قطاع ۲ آسیب‌پذیری این منطقه را در زمان بحران‌هایی مانند وقوع زلزله افزایش خواهد داد. درنتیجه خیابان‌های قطاع‌های ۱ و ۲ که از نظر شاخص‌های آسیب‌پذیری بالاترین امتیاز(به‌ترتیب ٤٩/٧٨ و ٥٥/١٢ درصد آسیب‌پذیری بالا در هر قطاع) را کسب کرده بودند(ازجمله خیابان‌های آزادی، خیابان آیت‌الله شیرازی، رجایی و...) دارای کمترین کارایی و درمقابل، بیشتر خیابان‌های قطاع‌های ۳ و ٤ به‌دلیل برخورداری از حداقل امتیازها(به‌ترتیب ١٠/٩٤ و ١٠/٤٥ درصد آسیب‌پذیری بالا در هر قطاع) در شاخص‌های ذکرشده، بالاترین کارایی را در زمان بروز بحران زلزله خواهند داشت. بنابراین باید در طرح‌های توسعه، اولاً به بهبود این معابر به‌خصوص درزمینهٔ شاخص‌های عرض معبر، آسیب‌پذیری ابنیه توجّه کرد؛ بدین‌صورت که معابر با عرض کمتر از ۸ متر در منطقه تعریض گردند و سایر معابر نیز بسته به حجم سفر موجود و پیش‌بینی‌شده و عملکرد شبکه‌ای آن، به عرض مناسب خود برطبق آیین‌نامهٔ طراحی راه‌های شهری نزدیک گردند. همچنین نوسازی و بازسازی بدنهٔ خیابان‌ها، به‌ویژه در اطراف مسیرهای اصلی و پرتردّد در اولویت اقدام قرار گیرد. علاوه بر این، در حد امکان از ایجاد بلوک‌های ساختمانی بزرگ که از نفوذپذیری بافت می‌کاهد، جلوگیری گردد. دوم اینکه تا زمان اصلاح شبکه، درصورت بروز بحران زلزله از مسیرهای اصلی و با آسیب‌پذیری پایین که در شکل(٥) نشان داده شده‌اند، برای امدادرسانی در سطح منطقه استفاده گردد و برای معابر درونی منطقه جهت دسترسی سریع به مسیرهای اصلی و تعیین‌شده، تمهیدات ویژهٔ دیگری نظیر استفاده از خودروهای کوچک‌تر برای واردشدن به منطقه و استفاده از نیروی انسانی کارآمد و آموزش‌دیده جهت انتقال افراد به خارج از منطقه، در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است اگرچه از شاخص‌های مذکور برای

تعیین آسیب‌پذیری منطقهٔ ثامن استفاده گردید، ولی می‌توان در سایر تحقیقات مشابه نیز از این شاخص‌ها برای تعیین مسیر بهینه در زمان‌های اضطراری استفاده کرد. ضمن اینکه پیشنهاد می‌گردد جهت ادامهٔ کار، علاوه بر شناخت و تحلیل جزئیات کالبدی بیشتر، مطالعه و تحقیق جامعی نیز بر معیارهای غیرکالبدی مؤثّر در آسیب‌پذیری، مثل رفتار انسانی شامل عرضه و تقاضای سفر و... صورت پذیرد تا بتوان با فراهم‌ساختن زمینهٔ شناخت این عوامل تا حد امکان از آسیب‌های ناشی از زمین‌لرزه و سایر بلایای طبیعی کاست.

کتابنامه

۱. حسینی، م.(۱۳۸۷). *مدیریت بحران*. تهران: مؤسسهٔ نشر شهر.

۲. خبرگذاری حوزهٔ نمایندگی ولی فقیه در امور حج و زیارت، ۱۳۹٤/۰۱/۳۰، http://hajj.ir/14/57256

۳. سالکی ملکی، م؛ ولی‌بیگی، م؛ و قاسمی، م.(۱۳۹۲). کارایی فضایی شبکهٔ ارتباطی به‌منظور امدادرسانی بعد از وقوع زلزله(مطالعهٔ موردی: شهرک باغمیشه تبریز). *فصلنامهٔ امداد و نجات*، ۳(۵)، ۷۰_۸۵.

٤. شیعه، ا؛ حبیبی، ک؛ و ترابی، ک. (۱۳۸۹). بررسی آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی شهرها درمقابل زلزله، با استفاده از روش GIS , IHWP (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ شش شهرداری تهران). *فصلنامهٔ باغ نظر، ۱۳* (۷)، ۳۵_٤۸.

۵. طارقیان، ح. (۱۳۸۳). مدل‌سازی تخلیه‌اضطراری با رویکرد شبیه‌سازی موازی. *مجلّهٔ دانش و توسعه*، *(۱۵)*، ۲۵_٤۷.

٦. عبّاس‌نژاد، ا؛ حسن‌زاده، ر.(۱۳۸۷). *مدیریت خطر زمین‌لرزه*. چاپ اوّل. کرمان: مرکز مطالعات مدیریت بحران شهرداری.

۷. کارتر، د. ن.(۱۳۷۳). *مدیریت سوانح و حوادث غیرمترقبه*. ترجمهٔ مرکز مطالعات و پژوهش‌های ارتش بیست میلیونی نیروی مقاومت بسیج سپاه پاسداران انقلاب اسلامی.

8. Apte, A. (2009). Humanitarian logistics: A new field of research and action. *Technology, Information and Operations Management*, *3*(1), 1-100
9. Campos, V., & Bandeira, R. (2012). A method for evacuation route planning in disaster situations. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *54*, 503-512.
10. Coutinho-Rodrigues, J., Tralhão, L., & Alçada-Almeida, L. (2012). Solving a location-routing problem with a multiobjective approach: the design of urban evacuation plans. *Journal of Transport Geography*, *22*, 206-218.
11. Han, L., Yuan, F., Chin, S., & Hwang, H. (2006) .Global optimization of emergency evacuation assignments. *Interfaces*, *36*(6), 502-513.

12. Hashemi, M. Alesheikh, A. A. (2011). A GIS-based earthquake damage assessment and settlement methodology. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31*, 1607–1617.
13. Kovacs, G., & Spens, K. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *37*(2), 99-114.
14. Kovacs, G., & Spens, K. (2009). Identifying challenges in humanitarian logistics. *International Journal of Management*, *39*(6), 506-528.
15. Sapir, G., & Vos, f., & Below, R. (2011). Annual Disaster statistical review 2011: The Numbers and Trends. *Center For Research On The Epidemiology Of Disasters-CRED, Institute Of Health And Society (IRSS), Catholic. Research Report of University of Louvain, Brussels (Belgium)*.This document is available on http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2011.PDF
16. Stepanov, A., & Smith, J. (2009). Multi-objective evacuation routing in transportation networks. *European Journal of Operational Research*, *1498*, 435-446.